

Aplicação de simulação para obtenção de soluções ao tráfego em rotatória da cidade de Manaus

[Application of simulation to obtain solutions to a traffic roundabout in the city of Manaus, Brazil]

Márcia Helena Veleza Moita*, Ely Sena de Almeida

Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brazil, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brazil

Submitted 8 Jul 2011; received in revised form 20 Dec 2011; accepted 26 Jan 2012

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e simulação de modelo computacional para avaliar a proposição de soluções no tráfego urbano em uma rotatória na cidade de Manaus. Utilizou-se um software de simulação para representar o movimento de veículos que circulam na referida rotatória. O trabalho possibilitou diagnosticar a operacionalização da rotatória, identificando pontos críticos responsáveis pela formação de filas nas vias de acesso. Assim, foi possível avaliar e elaborar proposições para eliminação ou redução do alto índice de congestionamento na área sem a necessidade de execução de grande intervenção local. O cenário simulado mostrou que ações de cumprimento de sinalização existente, bem como inclusão das marcações ausentes na área da rotatória, a retirada de semáforos localizados nas vias de saídas da rotatória, entre outros, aliviam o congestionamento na área nos horários de pico quando comparado ao cenário que representa a situação atual.

Palavras-Chave: simulação; planejamento de transporte; rotatória.

Abstract

This paper presents the development and simulation of computer simulation model to evaluate the proposed solutions in urban traffic in a roundabout in the city of Manaus. Using a simulation software to represent the movement of vehicles circulating in the roundabout. The work enabled to diagnose the traffic operation, identifying critical points responsible for the formation of queues on access roads. It was possible to evaluate and prepare proposals for elimination or reduction of high congestion in the area without the need for local implementation of major intervention. The scenario simulated showed that compliance with existing signs and markings absent inclusion of the traffic in the area, removal of traffic lights located in the process of leaving the roundabout, among others, relieve congestion in the area in peak hours when compared to the scenario that represents the current situation.

Key words: simulation; transport planning; roundabout.

* Corresponding Author. Email: mhvmoita@yahoo.com.br.

Recommended Citation

Moita, M. H. V. and Almeida, E. S. (2012) Aplicação de simulação para obtenção de soluções ao tráfego em rotatória da cidade de Manaus. Journal of Transport Literature, vol. 6, n. 1, pp. 93-109.

■ JTL|RELIT is a fully electronic, peer-reviewed, open access, international journal focused on emerging transport markets and published by BPTS - Brazilian Transport Planning Society. Website www.transport-literature.org. ISSN 2238-1031.

This paper is downloadable at www.transport-literature.org/open-access.

1. Introdução

A cidade de Manaus nos últimos anos afirmou-se como uma das grandes metrópoles brasileiras. A falta de planejamento urbano consistente e adequado, associada com crescimento rápido e desordenado, conduziu ao atual estágio da configuração urbana da capital do estado do Amazonas. E, embora o Plano Diretor Urbano e Ambiental aprovado pela Lei N. 671/2002 do município de Manaus estabeleça ordenamento do sistema, observa-se que de fato não houve adequado gerenciamento.

A ocupação irregular de áreas da cidade representa a primeira fase na constituição de um bairro na cidade de Manaus. Tal situação é um descompasso entre o instrumento jurídico apropriado para instituir o plano diretor, que é a lei, e sua execução prática.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) informa que Manaus já possui mais de 1.646.602 habitantes distribuídos em seis (06) zonas e 22 bairros. Não se inclui nesta contagem as invasões não cadastradas. A mesma pesquisa informa que aproximadamente 31% da população manauara reside na zona leste, tornando-a a área mais populosa da cidade.

Devido às constantes invasões, abruptamente novos bairros surgem. As primeiras solicitações junto ao poder público são pavimentação e circulação de transporte público. Esta situação em conjunto com a falta de planejamento urbano de maneira geral vem impactando negativamente no sistema viário de Manaus.

Avoluma-se ao problema anterior o elevado aumento na frota de veículos particulares da cidade. O Departamento Estadual de Trânsito em Manaus DETRAN/AM (2008) informa que nos últimos anos tem sido registrada entrada de 3.000 novos veículos mensalmente em Manaus.

Como medida para melhoraria na fluidez do trânsito em Manaus o Governo Estadual e Municipal, aplicou grandes intervenções nas áreas onde o tráfego de veículos é intenso. Rotatórias e cruzamentos vêm sendo substituídos por viadutos e passagens de nível. Contudo, sabe-se que não basta modificar toda a estrutura se não houver um planejamento prévio tanto para a questão da estrutura urbana quanto para o crescimento da cidade.

Uma intervenção pontual em determinada via da cidade faz com que o tráfego de veículos em tal área flua continuamente. Contudo, se a intervenção não considerar toda a área de influência, a ação pontual não terá efeitos positivos ampliados. Esta circunstância decorre pela não aplicação de visão sistêmica quando na elaboração do projeto na área de planejamento urbano.

Estudos técnicos, observações e simulações auxiliam na identificação de fatores que influenciam negativamente o tráfego de veículos que transitam em determinado local. Isto possibilita avaliar a necessidade de uma grande intervenção de natureza física ou apenas uma intervenção operacional.

Inúmeros são os fatores que contribuem para o congestionamento nas vias, tornando-as quase que intrafegáveis principalmente nos horários de fluxo intenso devido à formação de filas. Estas estão presentes na maioria dos processos cotidianos e também em sistemas informatizados. Quando a demanda é alta e o atendimento é deficitário, surgem as filas que praticamente estancam o fluxo do sistema.

A utilização eficiente dos recursos disponíveis requer-se adoção de ferramentas e métodos de otimização. Segundo Powell (2006) a otimização visa encontrar o melhor conjunto de decisões para uma determinada medida de desempenho. Hronec (1994) *apud* Attadia (2003, p.34) afirma que medidas de desempenho são sinalizações vitais para um organismo, pois informam sua atividade, seu desempenho e se sua ação atua como parte de um todo.

O uso da simulação como ferramenta tem contribuído para otimizar processos, pois possibilita, por exemplo, prever as conseqüências que as mudanças na estrutura trarão a um determinado sistema. A simulação é o conjunto de técnicas, métodos e aplicações utilizados para representar o comportamento de sistemas reais, usualmente em computadores com softwares apropriados (KELTON *et al*, 2007).

A rotatória do São José é responsável pela distribuição do fluxo de veículos para a zona leste da cidade de Manaus. Há grande fluxo de veículos particulares, veículos de transporte coletivo tais como ônibus, vans, taxi-lotação, micro-ônibus e moto-taxi. Nesta rotatória também transita parte da carga do Distrito Industrial de Manaus, logo há trânsito de carretas e caminhões. Ademais, nas proximidades da região em estudo existem significativos pólos

geradores de viagem, tais como shoppings, terminais de ônibus, garagem de empresas de transporte público, hospitais, maternidades, entre outros. Tais fatores têm contribuído para o congestionamento diário na rotatória em questão.

Desta forma, o presente artigo visa propor alternativas para amenizar o congestionamento do fluxo de veículos da Rotatória do São José, localizada na cidade de Manaus, validadas via simulação computacional.

Além dessa introdução, o artigo está estruturado em mais 6 seções. As seções 2 e 3 apresentam uma breve revisão teórica sobre o processo de simulação e o processo de operacionalização de rotatórias, respectivamente. Na seção 4 é apresentado o funcionamento atual da Rotatória do São José. A seção 5 aborda a coleta de dados e o modelo computacional construído. Os resultados e as análises estão dispostos na seção 6. Por fim, na seção 7, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

2. Processo de simulação

Cullis (2000) *apud* Marinho (2006) ressalta que a formação de filas é resultado do descompasso entre demanda e oferta. Usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, saindo do sistema assim que o serviço é completado. Esse fator não é solucionado de imediato em alguns casos devido a motivos como inviabilidade econômica e limitação de espaço. Entretanto, os processos geradores de filas podem ser estudados e dimensionados de forma a aliviar prejuízos que elas acarretam.

Segundo Fogliatti e Matos (2007), a teoria das filas consiste na modelagem analítica de processos ou sistemas que resultam em espera e tem como objetivo determinar e avaliar quantidades. São denominadas medidas de desempenho que expressam a produtividade e operacionalidade desses processos tais como: número médio de usuários na fila, tempo médio de espera, tempo médio de permanência etc.

Heidmann (1996) aplicou teoria das filas para modelar o fluxo do tráfego com finalidade de realizar análises de sensibilidade e previsões de demanda. Vandaele *et al* (2000) desenvolveu diferentes modelos de filas para definir taxa de chegada, usando a função exponencial, e taxa de prestação de serviços. Jain e Smith (1997) derivaram outro tipo de análise que considera

que o serviço prestado pelo fluxo do tráfego pode ser representado por uma função tanto linear como exponencial.

Enfim, existem diversas pesquisas realizadas aplicando a teoria das filas na modelagem do tráfego desenvolvidas a partir do trabalho de Davidson (1978). O modelo deste utilizou alguns conceitos de teoria das filas.

Com surgimento do computador na década de 50, a modelagem de filas pôde ser analisada pelo ângulo da simulação, onde se procurou imitar o funcionamento do sistema real (ROBISON, 2004).

Pegde (1991 *apud* Fretas Filho, 2008, p.22) define simulação como sendo o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo. Logo, entendendo comportamento e avaliando estratégias para sua operação. Costa (2009) mencionou que este procedimento é justificado em situações que coloquem em risco a integridade física de pessoas ou que apresentem os custos altos quando se pretende observar diretamente no mundo real.

A modelagem de sistemas é considerada como uma das várias faces da simulação, podendo ser desenvolvida tanto à mão quanto computacionalmente, e é nesse segundo cenário que este trabalho é aplicado. A modelagem e simulação por computador, segundo Robinson (1964) é como a imitação de um sistema através de um computador, considerando os progressos obtidos pelo sistema no decorrer do tempo.

A simulação é uma ferramenta de auxílio na elaboração de projetos e pode ser empregada em diversos setores, como exemplo, a simulação para automatizar o funcionamento de um armazém (sistema físico) ou um sistema de atendimento médico em casa (sistema dinâmico). Alguns tipos de sistemas não podem ser simulados considerando que são de um tipo específico de sistema, a exemplo dos sistemas citados acima, muitas vezes a interface de um sistema está dividida entre dois tipos de classificação (ROBINSON, 2004).

Andrade (2004) afirmou que simulação trata-se de uma ferramenta da pesquisa operacional que permite geração de cenários. Ribeiro (2003) ressaltou que, concluída a construção do modelo, fica fácil a alteração dos valores de entrada dos dados, visando verificar os resultados

obtidos para cada estudo desejado. Tendo por base estas alternativas, é possível orientar o processo de tomada de decisão, analisar e avaliar os sistemas e propor soluções para a melhora do desempenho do sistema em estudo, que admite aplicações em processos produtivos, serviços de atendimento e aplicação no tratamento de estratégias para tomadas de decisão em processo de planejamento de transporte, entre outros.

A rotatória do São José, objeto de estudo deste trabalho, trata-se de um sistema que funciona relacionando a interface do espaço físico disponível e os condutores dos veículos que transitam por ela, podendo ser classificado então como sistema físico e dinâmico.

3. Sistema de operacionalização de rotatórias

O tratamento dado as interseções dependem do volume de tráfego em cada aproximação, da disponibilidade física e dos recursos disponível (SALVATTI *et al*, 1986). Podem assumir diversas formas e dentre as variedades e características, os mesmos autores afirmam que as principais são:

- interseções com três (03) aproximações em T ou Y;
- interseções com quatro (04) aproximações;
- interseções com múltiplas aproximações; e
- rotatórias ou rótulas.

Segundo o LASTRAN (2009), rotatória é uma forma de interseção que acomoda o fluxo de veículos ao redor de uma ilha central. Opera com controle de retenção no ponto de entrada dos veículos, priorizando aqueles que se encontram circulando no seu interior, seguindo o tráfego que se move no sentido anti-horário. A Figura 1 mostra os principais elementos de uma rotatória.

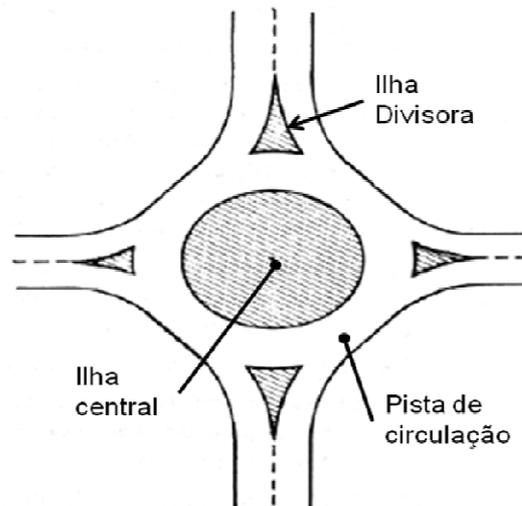


Figura 1: Elementos de uma rotatória

Fonte: LASTRAN (2009), adaptado.

O conceito surgiu em 1903, onde os veículos deveriam circular em um sentido único, porém a primeira aplicação prática deu-se em Nova York, em 1905 seguido por Paris em 1907 e no Reino Unido 1927. Entretanto, o termo rotatória foi utilizado em 1929 juntamente com sugestões de melhoria do processo (LASTRAN, 2009).

Nas primeiras rotatórias não foram definidas regras para circulação assim como nenhum fluxo apresentava prioridade sobre o outro. Em 1950 foi implementado a regra da direita o que resultou na geração de congestionamento dentro da rotatória. Esta medida gerou descrença na efetividade deste recurso de tratamento de interseções que aliada ao desenvolvimento dos semáforos coordenados, resultou na queda de preferência pelos projetistas, principalmente dos Estados Unidos. A regra que define que o fluxo que circula pela rotatória tem prioridade sobre o fluxo entrante foi adotada em 1966, no Reino Unido, fazendo com que os veículos que estivessem no ponto de entrada fossem controlados pelo fluxo circulante, eliminado o congestionamento no interior da pista de circulação. Além de limitar a capacidade da rotatória para a disponibilidade de brechas no fluxo circulante, aumentou, dessa forma, a segurança do tráfego.

No Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) reza que tem preferência aquele que estiver circulando dentro da rotatória, conforme Artigos 29 e 215.

Como todas as soluções, este tipo oferece algumas vantagens assim como inconvenientes, tais como proporcionar dificuldades sérias para pedestres em contrapartida à circulação contínua oferecida aos veículos (SALVATTI *et al*, 1986).

Theboux e Villasante (2004) realizaram estudo com o objetivo de avaliar os resultados provenientes da modificação do desenho geográfico das rotatórias existentes no Chile. Adotou-se procedimento de comparação com as existentes em outros países. Utilizou-se ferramenta de simulação, através do software SIDRA2, para avaliar melhoria na operação das rotatórias.

4. Estudo de caso: rotatória do São José

A Figura 2 apresenta a rotatória em estudo e a identificação das mencionadas vias.



Figura 2: Identificação das vias da área em estudo

A Rotatória do São José está localizada na zona leste da cidade de Manaus (latitude: 3° 4'32.39"S e longitude: 59°57'21.36"W) e é responsável pela distribuição do fluxo de veículos pelas quatro vias que a compõem. Cada via conta com duplo sentido, sendo que em três dessas vias existem outras rotatórias, a saber: Rotatória do Armando Mendes, Rotatória do Jorge Teixeira e Rotatória do Coroado. Nesta última encontra-se em fase de construção um novo viaduto. Estima-se que com o término das obras a tendência é que o tráfego de veículos se intensifique na rotatória em discussão.

Cada uma das vias e seus sentidos foram divididos, com a intenção de facilitar o estudo, para melhor entendimento. Assim, a Alameda Cosme Ferreira, Avenida Grande Circular, Rodovia AM – 020 e Avenida Grande Circular, receberam respectivamente as denominações de vias 1, 2, 3 e 4.

O modelo conceitual de simulação para a rotatória do São José, mostrado na Figura 3, se baseia no fluxo de um tipo de entidade pelo sistema (os veículos), que se movimentam pelas quatro vias de duplo sentido que são os pontos de entrada e saída da rotatória.

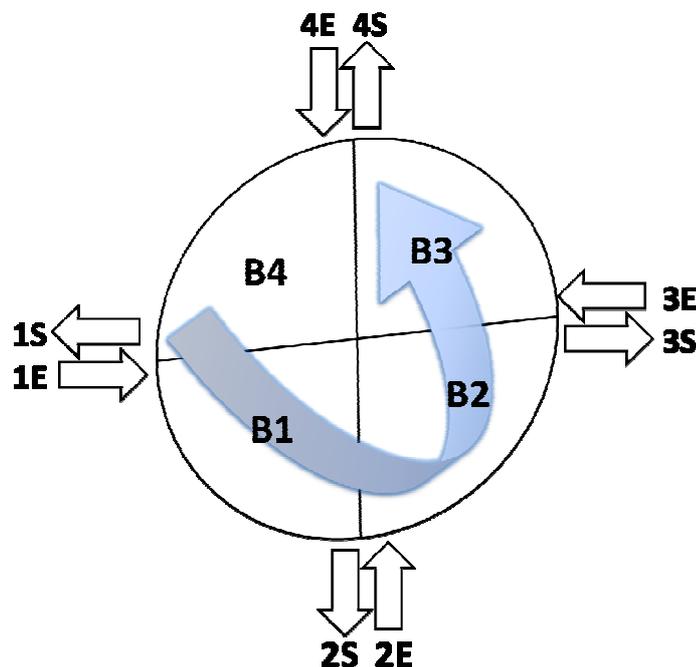


Figura 3: Modelo conceitual do funcionamento da rotatória do São José

Fonte: Elaboração própria

Uma vez que a rotatória possui quatro vias de duplo sentido, numerou-se cada uma, no sentido do fluxo da rotatória, de 1 a 4. As entradas foram denominadas: 1E, 2E, 3E e 4E, e as saídas, 1S, 2S, 3S e 4S. Para obter o efeito do funcionamento de uma rotatória, dividiu-se a mesma em quatro blocos, logo sendo possível simular as diversas possibilidades de origem e destino. O primeiro bloco para os veículos da entrada 1E é o B1 e a primeira possibilidade de saída é 2S e assim por diante. Então após passar por um bloco, verifica-se se o destino do

veículo é a saída atual, caso não seja, o veículo passa para o próximo bloco e repete a verificação até chegar ao seu destino.

Para a simulação com cenário alternativo ao cenário atual, designado nessa pesquisa como o cenário ideal, considerou-se o fluxo de saída sem a interrupção atualmente realizada por dois semáforos nas saídas 4 e 1, onde o primeiro está localizado na Grande Circular, em frente ao terminal de ônibus (T5) e outro na Avenida Cosme Ferreira, em frente ao Shopping São José.

Uma alternativa viável para os pedestres considerando a retirada dos semáforos é a instalação de uma passarela para travessia. O terminal de ônibus, além de ser um pólo gerador de viagens, é responsável pela entrada e saída de ônibus de grande e médio porte. Também nesta área ocorre elevado trânsito de pedestres.

A retirada desses semáforos se faz necessária, pois como estes dispositivos estão posicionados a aproximadamente 100 m da saída da rotatória, quando ocorre a interrupção do fluxo, os veículos acumulam-se na via de saída, impedindo a circulação de veículos dentro da rotatória, ocasionando por sua vez a formação de filas nos pontos de entrada.

Outro ponto observado é a não credibilidade da sinalização existente, principalmente no tocante as paradas proibidas, assim como estacionamento dentro da área de circulação da rotatória. Na simulação do cenário ideal realizada, esses quesitos foram introduzidos para melhoria do fluxo.

Uma forma de aplicar essa condição no mundo real seria a fiscalização pelo órgão responsável, assim como punição dos infratores, para que dessa forma, as leis básicas de trânsito sejam respeitadas pelos condutores. Outro fator que contribui para esta falta de educação dos motoristas é a ausência de sinalização viária horizontal, tais como as faixas de retenção, separação das vias, entre outros.

5. O modelo para simulação computacional

5.1 Coleta de dados

No período de 10 a 12 de fevereiro de 2009, no horário de 16 às 18 horas, coletaram-se informações sobre a quantidade de veículos que trafegavam naquele local em intervalos de 10 minutos. Este horário foi definido por apresentar o maior congestionamento, pois conta com a saída dos ônibus particulares responsáveis pelo transporte dos funcionários que trabalham nas empresas localizadas no Distrito Industrial. Este também é o intervalo de tempo em que os estudantes do período vespertino são liberados assim como outras atividades de comércio encerram suas atividades.

Os dias escolhidos para a pesquisa corresponderam à terça, quarta e quinta-feira. Estes são dias típicos de congestionamento. Segunda-feira e sexta-feira foram descartados no levantamento, pois são próximos ao fim de semana, apresentam comportamentos atípicos dos dias de deslocamento normal da população.

No levantamento de campo contou-se com a participação de 8 pesquisadores posicionados nas vias de entrada e saída da rotatória. A sincronização e coleta de dados, no intervalo de 10 minutos, deu-se tomando como referencial o relógio existente na rotatória. Foram utilizados contadores manuais para registrar quantidade de carros trafegando. Em um dos dias, utilizou-se recurso de gravação, através de filmadora. Assim, captaram-se imagens dos momentos de tráfego intenso para simular com máxima exatidão possível o sistema observado.

A investigação visa avaliar pontos negativos que tornam a rotatória do São José local de difícil tráfego na cidade de Manaus.

Através da ferramenta do Arena[®] denominada *Input Analyzer*, tratou-se estatisticamente os dados coletados. Determinou-se a distribuição probabilística mais adequada em relação ao menor erro, e considerando nível de confiança de 95%, foi possível obter as distribuições das variáveis de estudo, conforme indicação da Tabela 1.

Tabela 1: Intervalo entre as chegadas e Tempo de percurso de Blocos

Variáveis	Média (s)	Expressão Matemática	Erro quadrado padrão ($\leq 0,05$)
Intervalo entre as chegadas	0,583	0,47+EXPO(0,113)	0,05
Tempo de percurso B1	5,91	TRIA(3,5;4,73;9,5)	0,01
Tempo de percurso B2	11,9	TRIA(9;9,7;19)	0,04
Tempo de percurso B3	6,67	TRIA(3,5;5;11,5)	0,03
Tempo de percurso B4	11,9	TRIA(8;11,5;15)	0,04

Ao entrar na rotatória o veículo recebia atributos de origem (define o primeiro bloco a ser percorrido) e destino (define o último bloco a ser percorrido). Também foi utilizado prioridade de passagem para o veículo que estava na rotatória. Para a simulação dos semáforos, utilizou-se bloco de dados que programa os intervalos de paradas e movimento de fluxo das entidades nos pontos de saída do sistema em estudo.

5.2 Modelagem e simulação

Utilizou-se o software Arena[®] versão 11.0, visto que se trata de um programa específico para simular sistemas de fácil implementação e verificação dos modelos (ARONS e BOER, 2001). Freitas Filho (2008) enquadra o Arena[®] e sua linguagem de programação (SIMAM V) na classe de modelagem e simulação de propósito geral, onde os sistemas a ser simulados podem pertencer a qualquer área de aplicação tal como manufatura, logística, serviços, redes de computadores e sistemas de transporte, que é o caso deste estudo.

Para obter o efeito do funcionamento de uma rotatória, dividiu-se a mesma em quatro blocos, dessa forma foi possível simular as diversas possibilidades de origem e destino. O primeiro bloco para os veículos da entrada 1E é o B1 e a primeira possibilidade de saída é 2S e assim por diante. Então após passar por um bloco, verificou-se se o destino do veículo foi a saída atual, caso não fosse, o veículo passava para o próximo bloco e repetia-se a verificação até chegar ao seu destino.

Ressalta-se que os blocos são referente às vias, isto é o Bloco 01 representa a Via 01, e por conseguinte para os demais blocos.

O modelo computacional foi dividido em 4 blocos básicos, que representam: (a) chegada de entidades (veículos) na rotatória, (b) espera para entrar no fluxo de veículos que circulam na rotatória, (c) processamento das entidades na rotatória e (d) saída dos veículos do sistema.

6. Resultados e análises

A simulação do sistema ideal realizada levou em consideração as alterações propostas no comportamento atual do sistema em estudo, tais como:

- retirada dos semáforos nas vias de saída, fazendo com que seja necessária a construção de passarelas para o tráfego de pedestres;
- cumprimento das sinalizações horizontais necessárias ao bom funcionamento de uma rotatória, tais como faixa de retenção, prioridade para os veículos que estão circulando na rotatória, dentre outros; e
- respeito pelas leis de trânsito pelos condutores dos veículos, retirando as paradas dentro do espaço físico da rotatória.

Os resultados parciais de todas as 20 replicações da simulação ideal realizada, em termos de permanência na fila para entrada no fluxo da rotatória, foram tratados pelo *Output Analyzer*.

Nas Vias 1, 2, 3 e 4 identificaram-se respectivamente o máximo de 4, 18, 5 e 14 veículos na fila. Apesar das alterações sugeridas, viu-se ainda um tempo de espera médio de 2,2 s para a entrada dos veículos que chegam na Via 2, sendo esta a de ligação com o Distrito Industrial. Outro dado interessante, é que o número máximo de veículos em espera nesta via foi de 4 carros, sendo que atualmente essa mesma fila é de grande extensão. Assim, nota-se que a existência de fila deu-se efetivamente nas Vias 2 e 4, porém com baixo número de carros comparativamente com a realidade atual.

Fez-se comparativo entre a situação ideal e uma segunda alternativa, representada pelo Cenário 1. Neste considerou-se apenas um semáforo, especificamente o da saída 4S da rotatória. Procedeu-se a análise também para os quesitos tempo de permanência na fila, número de veículos na fila para as replicações efetuadas e número médio de veículos na fila.

Levando em consideração os resultados da simulação do Cenário 1, pode-se afirmar que, em média, um veículo permanece na fila por 50 minutos na espera da fluidez do tráfego no horário de pico. E que o número médio de carros na fila para esta situação foi de 34 veículos.

O Cenário Real mostra um aumento de 5 minutos de espera na fila em relação ao Cenário 1 e o número médio de veículos na fila foi de 43. Sendo que na situação ideal, o número máximo não chegou a metade deste valor, o qual foi de 18 unidades.

Ao comparar os resultados de tempo máximo de espera na fila e número máximo de veículos na fila, as Figuras 4 e 5 mostram a diferença entre as opções de manter ou não os dois fluxos de saída interrompidos, retratando o cenário real e ideal, respectivamente.

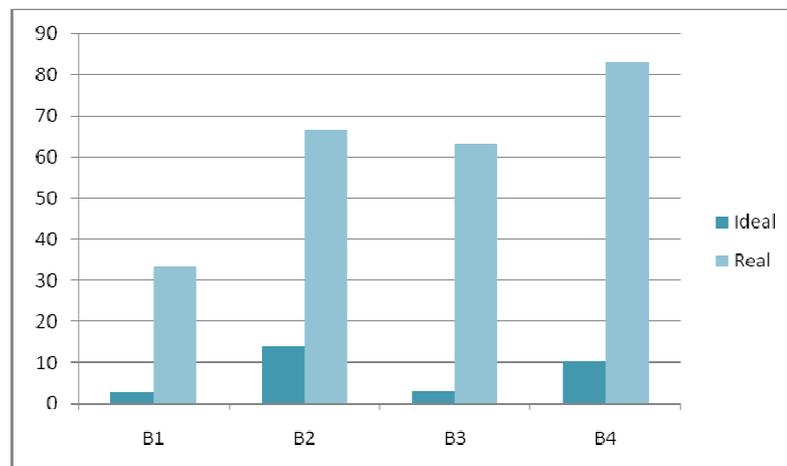


Figura 4: Tempo máximo de espera

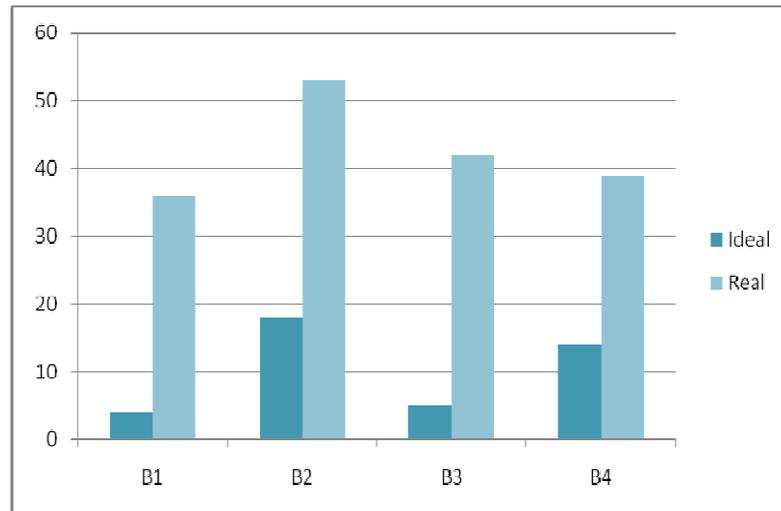


Figura 5: Número máximo de veículos

Para o Cenário Real o tempo de espera em uma fila de entrada na rotatória atingiu o pico máximo de 90 minutos enquanto que, para um Cenário Ideal onde as interrupções do fluxo foram retiradas, este número chega ao máximo de 10 minutos. Já para a questão de número máximo de veículos na fila, enquanto o Cenário Ideal previu-se no máximo 20 na Via 2, sendo esta a entrada de veículos proveniente do Distrito Industrial, para o Cenário Real, este número ultrapassou o valor de 50 veículos.

Considerações finais

A simulação mostra-se como uma ferramenta importante para auxílio à tomada de decisão, principalmente na área de transporte urbano. A aplicação da metodologia possibilita a formação de um cenário futuro, sem a necessidade da realização efetiva de intervenções físicas no local de pesquisa. Neste caso, as propostas de alterações foram de pequeno impacto. Tem-se como exemplo, em um dos casos, o simples cumprimento das leis de trânsito pelos condutores, o que pode ser realizado com disponibilidade de agentes de trânsito para orientar, educar e fiscalizar.

Em relação à segurança dos veículos, capacidade de operação e custo a longo prazo, as rotatórias se apresentam como alternativas positivas, mas para os pedestres, entretanto, as desvantagens aparecem em maior número. Por este motivo sugere-se a construção de passarelas para o trânsito de pedestres, que vem a ser a intervenção de maior custo. Não

obstante comparativamente menor do que intervenções como viadutos e passagens de nível. Sendo estas infraestruturas optadas com frequência pelos governantes do Estado e Município.

A implantação da passarela, além de oferecer um impacto positivo para a segurança dos pedestres, contribui para o fluxo contínuo de veículos que saem da rotatória ao possibilitar a retirada do controle realizado por semáforo para a travessia dos pedestres.

Outra sugestão para melhoria da simulação seria a de utilizar dados para simulação dos semáforos. Sendo coletados dados que possibilitasse programação das paradas de acordo com a realidade em estudo.

Embora este estudo tenha fins acadêmicos, mesmo com as suas limitações, mostrou-se dinâmico e com apresentação de resultados de relevância, mostrando a simulação computacional com uma ferramenta importante para estudos na área de planejamento de transporte urbano.

Para que o planejamento de transporte urbano venha a ocupar o seu verdadeiro espaço é necessário antes estabelecer a sua prioridade política, tanto no âmbito nacional como regional. No tocante esta questão em Manaus, percebe-se que as ações, visando soluções quase sempre pontuais, são provenientes de decisões tomadas mais em função da experiência prática ou de experiências realizadas em outras cidades brasileiras, descartando a possibilidade de se realizar uma análise prévia do impacto que as alterações podem causar.

Referências

- Andrade, E. L. (2004) *Introdução a pesquisa operacional: modelos e métodos para análise de decisões*. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Arons, H. S. e Boer, C. A. (2001) Storage and retrieval of discrete –event simulation models. *Simulation Practice and Theory*, v.8, p.555-76.
- Attadia, L. C. L. e Martins, R. A. (2003) Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. *Revista Produção*, v. 13, n. 2, p. 33-41.
- Davidson, K.B. (1978) The theoretical basis of a flow-travel time relationship for use in transport planning. *Australian road research*, v.8 (1), p.32-35.
- Departamento Estadual de Trânsito do Amazonas, DETRAN (2009) Informações sobre quantidade de carros que entram por mês na cidade, 2008. Disponível em: <<http://www.detran.am.gov.br/>> Acesso em: 16 jan.
- Fogliatti, M.C. e Matos, N. M. (2007) *Teoria das Filas*. Rio de Janeiro: Interciência.

- Freitas Filho, P. J. (2008) Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. 2.ed – Florianópolis: Visual Books.
- Heidemann, D. A. (1996) queueing theory approach to speed-flow-density relationship. *Proceedings of the 13th International national Symposium on transportation and traffic-theory*, Lyon, France, Transportation and Traffic theory.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2009) Informações referentes à contagem da população no Amazonas, 2007. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em: 16 jan.
- Jain, R. e Smith, M. (1997) Modeling vehicular traffic flow using M/G/C/C state dependent queueing models. *Transportation Science*, v.31, p. 324-36.
- Kelton, W. D, Sadowski, R. P. e Sturrock, D. T. (2007) *Simulation with Arena*. 4th ed. McGraw-Hill.
- Laboratório de Sistemas de Transporte - LASTRAN (2009) *Interseções*. Porto Alegre: UFRGS. 83 diapositivos. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_14intersecoes.pdf>.
- Marinho, A. (2006) Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro. *Cadernos de Saúde Pública*, v.22, n.10, Out.
- Powell, S. G. e Baker, K. R. (2005) *A Arte da Modelagem com Planilhas*. Rio de Janeiro: Saraiva.
- Ribeiro, F. R. (2003) *Modelo de simulação e análise operacional de pátio de aeroportos*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo.
- Robinson, S. (2004) *Simulation: the practice of model development and use*. London: John Wiley & Sons.
- Salvatti, E, Kohlsdorf, M.E. e Zimbres, P. (1986) *Sistema Viário*. Brasília: UnB.
- Theboux, G. Z. e Villasante, R. L. (2004) Estudio aplicación guía aaSHTO2000 para El diseño de rotonas em Chile. *XIII Panamerican Conferece Traffic & Transportation Engineering*. September 26-29. CD-Rom.
- Vandaele, N.T., Woensel, V.A. e Verbruggen, A. (2000) A queueing based traffic flow model. *Transportation Research D*, v.5 (2), p. 123-35, February.